

Çelik Levha Perdeli Çerçeve Sistemlerde Levha Narinliğinin Davranış Üzerine Etkisi

Güven Kıymaz¹, Erdal Coşkun²,

Edip Seçkin³

İstanbul Kültür Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ataköy Kampüsü, 34156, İstanbul, Türkiye

Öz

Çok katlı çelik çerçevesel yapılarda yatay karakterli yüklerin taşınması için kullanılan yöntemlerden en bilinenleri çelik çaprazlı çerçeveler, kolon-kiriş birleşimlerinin moment aktaracak şekilde tasarlandığı rijit çerçeveler ve betonarme perdeli çerçevelerdir. Son yıllarda bu bilinen yöntemlerin yanısıra çelik levha perdeli çerçeve sistemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür sistemlerde çelik levha perdeler bir kat yüksekliğinde ve bir açıklık genişliğinde üretilip, bina çerçevesi içerisine düşey olarak yerleştirilmekte ve levhayı çevreleyen kiriş ve kolonlara bağlanmaktadır.

Anılan sistemde yatay yükler, dört tarafından çerçeve kolon ve kirişlerine çevresi boyunca mesnetli çelik levhaların oluşan kat kesme kuvvetleri etkisine karşı elastik ve elastik ötesi dayanımı ile karşılanır. Bu davranış biçimini ve dolayısıyla dayanımı etkileyen önemli parametreler levha genişlik/yükseklik oranı, kolon-kiriş rijitlikleri ile çelik levhanın kalınlığıdır. Bu çalışmada bu parametrelerden levha kalınlığı ele alınmıştır. Düzlem çerçevesel beş katlı çelik levha perdeli sistemler Kanada, Çelik Yapıların Limit Tasarımı (CSA S16-01) esas alınarak incelenmiştir. Levha kalınlığının sistem davranışı üzerine etkisini incelemek üzere levha genişlik/yükseklik oranı, kolon-kiriş rijitlikleri gibi büyüklükler sabit kabul edilerek farklı levha kalınlıkları için sonlu elemanlar yöntemi tabanlı bir yazılım kullanılarak analizler yapılmıştır. Bu çalışmada ele alınan düzlem çerçevelerin yatay yüklere karşı dayanımlarını belirlemek için itme analizi (pushover) yöntemi kullanılmıştır. Yapı modelleri tek düzlemde iki doğrultulu, beş katlı, çeşitli çelik levha kalınlıklarına sahip 11 adet çerçeve olarak ele alınmış, elemanların iç kuvvetleri, çerçevelerin periyotları, tepe noktası yatay ötelemeleri, görelî kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetleri SAP2000, sonlu elemanlar programı kullanılarak bulunmuştur.

¹ Yard.Doç.Dr., TC İstanbul Kültür Üniversitesi, Müh. ve Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü

² Yard.Doç.Dr., TC İstanbul Kültür Üniversitesi, Müh. ve Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü

³ Araş.Gör., TC İstanbul Kültür Üniversitesi, Müh. ve Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü

Çalışmanın sonucunda, çelik levhalı perde sistemlerde levha kalınlığının artmasıyla çerçeve rijitlik ve deprem yükü etkisi altında dayanımın önemli ölçüde arttığı ancak sistem sünekliğinin olumsuz etkilendiği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Çelik levha perdeli çerçeve, statik itme analizi, çelik levha kalınlığı, Çelik çerçeve sünekliği.

Giriş

Yapılarda rüzgar ve depremin sebep olduğu yatay yükleri karşılamada çeşitli yöntemleri vardır. Çelik yapılar için bu yöntemlerden en bilinenleri çaprazlı çerçeveler, kolon-kiriş birleşimlerinin moment aktaracak şekilde tasarlandığı rijit çerçeveler veya betonarme çekirdekli sistemlerdir. Son yıllarda bilinen yöntemlere seçenek oluşturabilecek kadar dikkat çeken Kanada ve Japonya’da uygulama alanı bulan bir diğer sistem çelik levha perdeli çerçeve konstrüksiyonlarıdır. Bu sistemde çelik levha perdeler bir kat yüksekliğinde ve bir açıklık genişliğinde üretilip, bina çerçevesi içerisine düşey olarak yerleştirilmekte ve levhayı çevreleyen kiriş ve kolonlara bağlanmaktadır. Bu düzenleme şekli temel üst kotundan itibaren bina yüksekliği boyunca her katta tekrarlanır (Şekil 1).



Şekil 1 Kanada’da çelik levha perdeli *Canam Manac Genel Müdürlük* ek binası.

Çelik levhalı perde sistemlerinin oluşturulabilmesi için levha ile bu levhaların bağlanacağı kolon ve kirişlere gereksinim vardır. Levhalar kaynaklı yada bulonlu birleşimlerle çevre kolon ve kiriş elemanlara her katta tespit edilir. Bu şekilde her katta dört kenarı basit mesnetli çelik levha panellerden oluşan bir sistem ortaya çıkar.

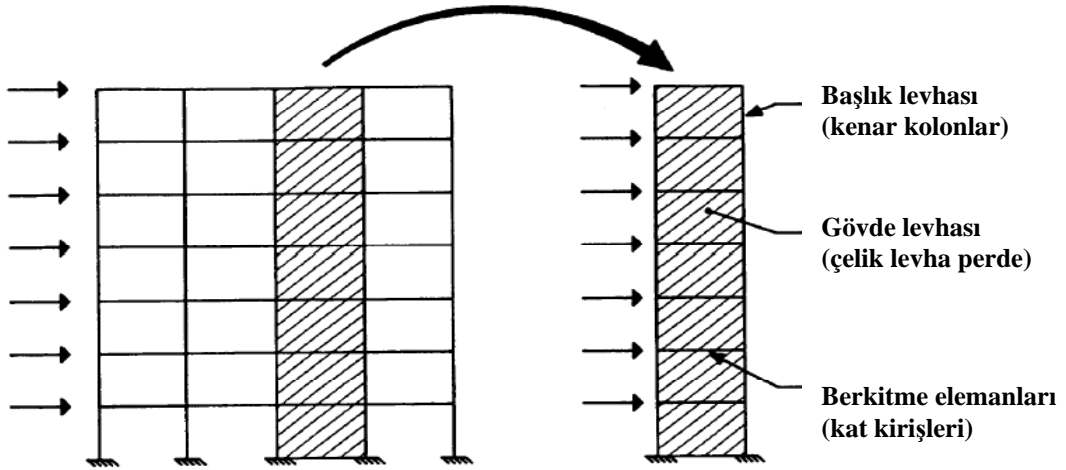
Çelik levha perdeler, berkitmeli ya da berkitmesiz olarak uygulanabilir. Berkitmeli çelik levha perde kullanılmasında amaç, levhanın kesme kuvveti altında akmasından önce burkulmasının önüne geçmektir. Berkitmesiz uygulamada ise çelik levhanın burkulmasına izin verilir ve kat kesme kuvvetleri elastik burkulma sonrası oluşan diagonal çekme alanı etkisi ile taşınır. Aynı kat kesme kuvvetini taşıyan berkitmesiz levha kalınlığı berkitmeli levha kalınlığından daha fazla olacaktır. Ancak yapılan

araştırmalar berkitmesiz döz levha uygulamasının daha ekonomik olacağı yönünde sonuçlar vermiştir (Timler, P.A., 1998).

Çalışmada çelik yapılarda yatay yükleri taşıyan, çevresi çelik kolon ve kirişlerle mesnetlendirilmiş çelik levhalı perde yapı sistemi incelenmiştir. Bu tür yapı sistemleri ile ilgili tasarım kuralları için halihazırda dünyada tek yönetmelik olan Kanada, Çelik Yapıların Limit Tasarımı Standardı'ndan yararlanılmıştır (CSA, Canadian Standards Association, 1994). Yapı modelleri tek düzlemde iki doğrultulu, beş katlı çerçeveler olarak ele alınmış, elemanların iç kuvvetlerini, yatay öteleme değerlerini ve dinamik özelliklerini bulmak için SAP2000 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. Lineer analiz yöntemi ile elemanların düşey yükler altında yeterli kesite sahip oldukları saptandıktan sonra elemanlara elasto-plastik davranış yaptırarak mafsal özellikleri ile lineer olmayan analiz parametreleri tanımlanmıştır. Son adımda her çerçevenin statik itme analizleri yapılmış sonuçlar tablo ve grafik gösterimlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmanın amacı, çelik levha perdeli sistemlerin, farklı gövde narinliklerinin davranışa olan etkisinin incelenmesi ve aralarında karşılaştırmanın yapılmasıdır.

Çelik Levha Perdenin Davranışı

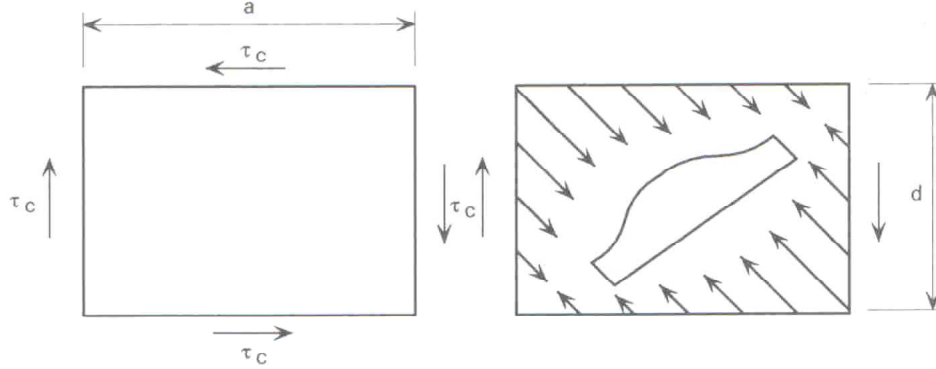
Çelik levhalı perde sisteminin yatay yükler altındaki davranışı, gövde levhası berkitilmiş yüksek gövdeli çelik kirişin düşey yükler altındaki davranışına eşdeğerdir. Dikey yerleştirilmiş yüksek gövdeli çelik kirişe benzer şekilde çalışan sistemde kenar kolonlar yüksek gövdeli kirişin başlık levhaları, kat kirişleri de yüksek gövdeli kirişin gövdesindeki düşey berkitme elemanları olarak göz önüne alınabilir (şekil 2).



şekil 2 Çelik levha perdeli çerçeve - Yüksek gövdeli çelik kiriş analojisi.

Düşey yükler altındaki yüksek gövdeli kirişin hesabında göz önüne alınan en önemli davranış biçimi gövde levhasının kesme kuvvetleri altındaki davranışıdır. Bu kuvvetlerden doğan gerilmeleri karşılayacak gövde levhasının genellikle narin bir levha olması sebebiyle üzerine belirli aralıklarla berkitme elemanları tespit edilir ve böylece kiriş gövdesi dört kenarı basit mesnetli daha küçük panellere bölünmüş olur. şekil 3'te bu tip bir panelin kayma gerilmeleri altındaki davranışı gösterilmiştir. Panel, kayma gerilmelerinin artması ile birlikte öncelikle elastik burkulumaya maruz kalmakta ve

burkulma sonrası yükleme seviyelerinde şekilde de gösterilen diagonal çekme alanı etkisi ile daha fazla yük taşıyabilmektedir. Çelik levha perdelerin tekrarlı yatay yükler altındaki dayanım, süneklik ve çevrimsel davranışı üzerine yapılan analitik ve deneysel çalışmalar bu etkinin önemli seviyede enerji sönümlenme sağladığı sonucunu vermiştir (Driver, R.G.ve diğ., 1998).



Şekil 3 Dört kenarı basit mesnetli çelik levhanın kayma gerilmeleri altındaki davranışı.

Çelik levha perde tasarımında göz önüne alınan eleman davranış şekilleri aşağıda verildiği gibi sıralanabilir (Astaneh-Asl, A., 2001):

Çelik levhada;

1. Levhanın kolon-kirişlere bağlantısı bulonlu ise bulonların kesme davranışı.
2. Çelik levhanın burkulması.
3. Çelik levha malzemesinin kesme kuvvetleri altında akması.
4. Çelik levhanın yırtılması.

Üst ve alt kat kirişlerinde;

1. Levhanın üstünde ve altında yer alan kat kirişlerinin kesme etkisi ile akması.
2. Kirişlerde plastik mafsall oluşması.
3. Kirişlerin gövde veya başlık plakalarının yerel burkulması.
4. Rijit çerçeve ise kirişlerin moment aktaran uç birleşimlerinde çatlama.
5. Kirişlerin eleman yada yanal burulmalı burkulması.
6. Kiriş üstü döşeme kesme bağlantı elemanlarının kırılması.

Kolonlarda;

1. Kolonlarda plastik mafsall oluşması.
2. Kolonların gövde veya başlık plakalarının yerel burkulması.
3. Kolonların eleman seviyesinde burkulması.
4. Kolon taban plakalarının yatay yükler altında çerçeve düzeyinde dönme dolayısıyla oluşan çekme kuvvetleri altında akması bağlantı bulonlarının kopması.
5. Perde altı temellerde çatlama.

Çerçevenin yatay yükler altında olumlu bir çevrimsel davranış gösterebilmesi için hesaplarda yukarıda sıralanan davranış biçimlerinin belli bir sıra ile oluşması sağlanmış olmalıdır. Örneğin, artan yükler altında yukarıda kolonlar için sıralanan davranış

biçimleri kiriş ve levha davranışlarından sonra meydana gelmelidir. Sıralama önce levha, sonra üst ve alt kat kirişleri ve en son kolonlar şeklinde düşünülmelidir. Levhaları çok kalın, kolonları narin olarak düzenlenen bir çerçevede levhanın elastik burkulmasından önce kolonların burkulması veya üzerlerinde plastik mafsal oluşması olasıdır ve bunun olumlu bir çerçeve davranışı olduğu söylenemez.

Çelik Levha Perdelerin Performansa Dayalı Tasarım Kriterleri

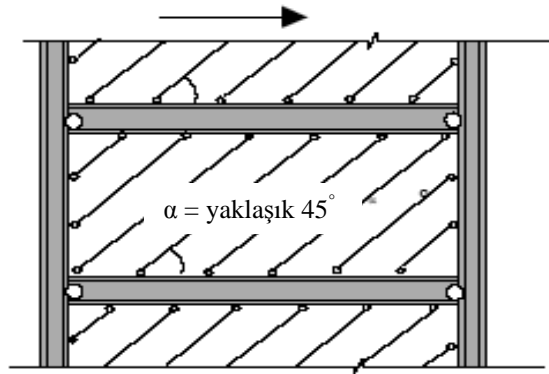
Performans esaslı tasarım iki ana unsura, talep ve kapasiteye dayanmaktadır. Talep yapıya etkiyen deprem yükleri, kapasite ise yapının bu yükler altındaki davranışdır. Yapının kapasitesi taşıyıcı sistem elemanlarının lineer bölgenin ilerisindeki kapasitelerinin toplamı olarak düşünülebilir. Bu kapasitelerin hesaplanabilmesi için malzemenin ve elemanın elastik ötesi şekil değiştirmeleri lineer olmayan sistem hesaplarına göre irdelenir.

Yapının kapasitesi ise taban kesme kuvveti ile tepe noktasının deplasmanı arasındaki ilişki ile ifade edilir. Bu ilişki grafik yolla anlatıldığında kapasite eğrisi ortaya çıkmaktadır. Kapasite eğrisi, yapıda düşey yüklerin ve orantılı artan yatay yüklerin etkisiyle sistemin göçme durumuna kadar sürdürülen itme analizi sonuçlarına göre elde edilir. Buna taşıma kapasitesi ya da limit durum denir.

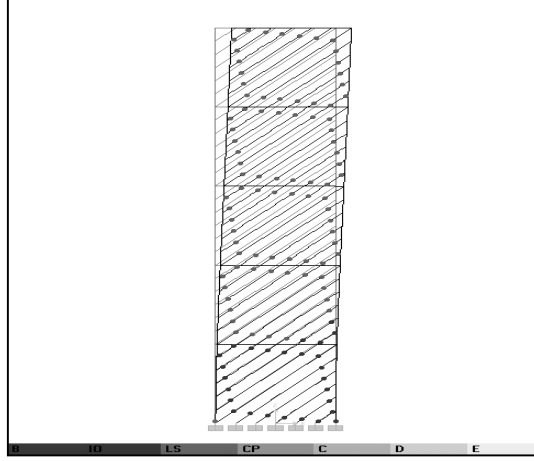
İtme Analizi

İtme analizi ile yapının süneklik kapasitesi, taşıyıcı elemanların ne zaman ve hangi sıra ile akma ve göçme sınırına ulaştığı belirlenebilir. Çalışmada itme analizi için SAP2000 programında plastik mafsal yer değiştirme özellikleri kullanılmıştır. Analizlerde ele alınan mafsal tipleri, sadece aksel yük etkisindeki çelik yapı elemanlarında normal kuvvet şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması için kullanılan P ve Moment yük etkisindeki çelik yapı elemanlarında M- χ ilişkisinin tanımlanması için kullanılan M_3 plastik mafsallarıdır (Seçkin, E., 2004).

Analiz modellerinde levhaların özellikle burkulma sonrası oluşan diyagonal çekme bölgesine karşılık gelen, uçları aksel P plastik mafsallı ve yaklaşık 45° eğimli şerit (strip) elemanlar kullanılmıştır (Şekil 4). “FRAME_A” isimli tipik modele uygulanan itme analizinin son adımındaki çerçeve ötelenmesi Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 4 Çelik Levhalı Perde Modeli (Driver,1983)



Şekil 5 “FRAME_A” isimli tipik modele uygulanan itme analizinin son adımındaki çerçeve ötelenmesi.

Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada, yapı modelleri tek düzlemde iki doğrultulu, beş katlı, çeşitli çelik levha kalınlıklarına sahip 11 adet çerçeve olarak ele alınmış, elemanların iç kuvvetleri, çerçevelerin periyotları, tepe noktası yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetleri SAP2000 analiz programı kullanılarak bulunmuştur.

Çalışmada sırasıyla;

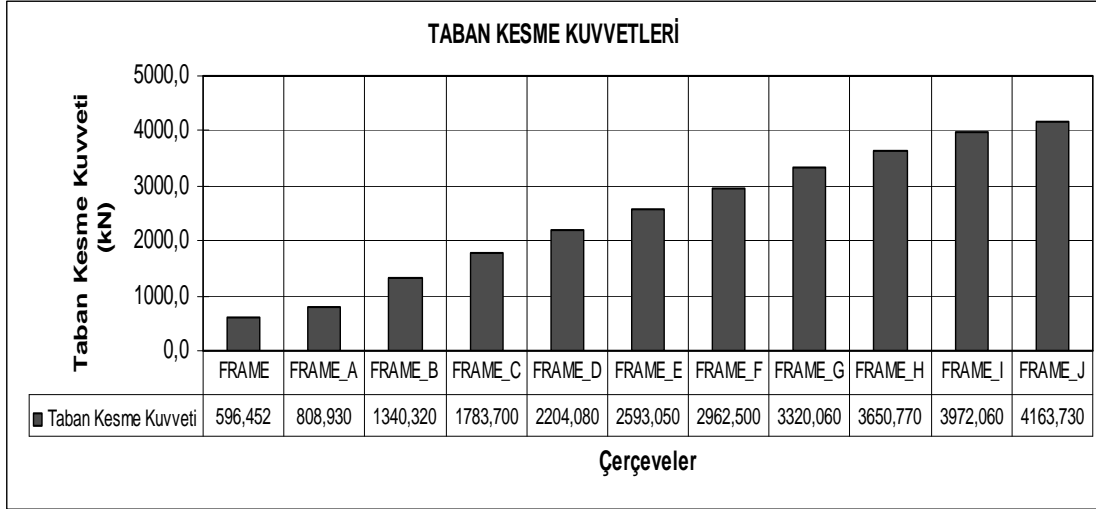
- Çerçeveselerde yatayda kolon aksları arası ve düşeyde kiriş aksları arası olarak 3,00 m tanımlanmıştır. Kolonlar için HE 400 M, kirişler için HE 300 A profilleri seçilmiştir.
- Çelik levhalı çerçevelerde 0,3857 m genişliğe sahip 10 adet bant eleman yatayla 45°'lik bir açı yapacak şekilde modellenmiş ve kalınlıkları her çerçeve tipinde 1 mm artırılarak farklılık sağlanmıştır.
- Kolon ve kirişler için düşey yükler etkisinde analizleri yapılarak elemanlar tasarlanmış ve yeterli güvenliğe sahip oldukları saptanmıştır.
- Çerçevelerin elasto-plastik davranış yapımları için kolonlarda (M_3), çelik bant elemanlarda (P) mafsal özellikleri ile lineer olmayan analiz parametreleri tanımlanmıştır.
- Son olarak her çerçevenin statik itme analizleri yapılmış sonuçlar tablo ve grafik gösterimlerle karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar değerlendirildiğinde;

- “FRAME” isimli çelik levhasız ve kolon-kiriş birleşimleri moment aktaran çerçevede 0.5322 sn ile en büyük periyot değerine, FRAME_J çerçevesinde ise 0.1954 sn ile en küçük periyot değerine sahip olduğu saptanmıştır. Bu durumda % 63,28 oranında yapı periyodu azalmıştır.

- Periyot değerine ters orantılı olarak çerçevelerin başlangıç rijitlikleri de değişmektedir. Etkiyen en büyük taban kesme kuvveti 4163.73 kN ile *FRAME_J* çerçevesi, en küçük taban kesme kuvveti de 596.45 kN ile *FRAME* çerçevesidir (Tablo 1). Bu durumda da % 698,08 oranında taban kesme kuvveti artmıştır.

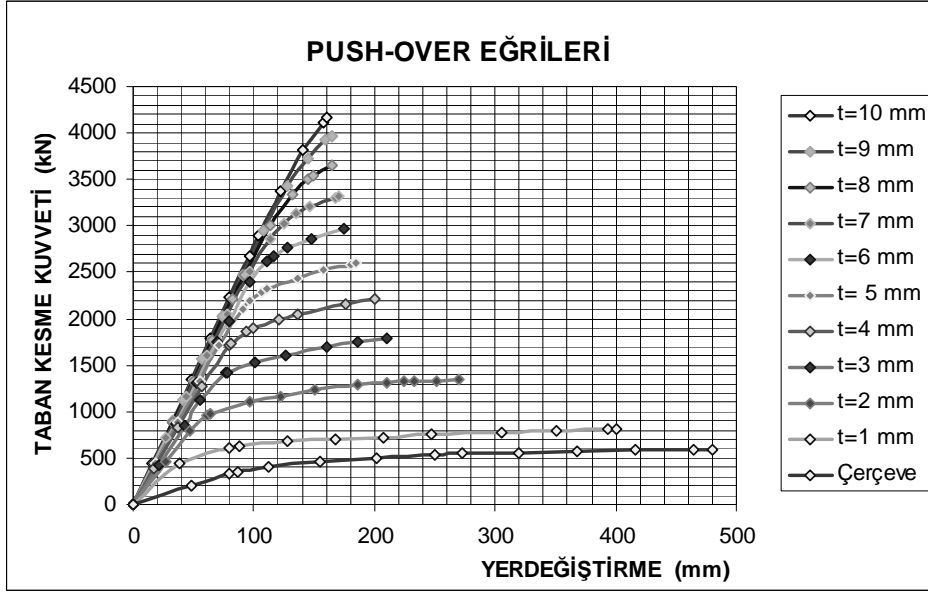
Tablo 1 Tüm çerçevelerin taban kesme kuvvetleri.



- Çerçevelerin taban kesme kuvvetleri arasında en büyük artış % 65,69 oranıyla *FRAME_A* ile *FRAME_B* arasında olmuştur.
- Çerçevelerin taban kesme kuvvetleri arasında en küçük artış % 4,82 oranıyla *FRAME_I* ile *FRAME_J* arasında olmuştur.
- Çerçevelerin kolon aksenal kuvvetleri arasında en büyük artış % 100,92 oranıyla *FRAME_A* ile *FRAME_B* arasında olmuştur.
- Çerçevelerin kolon aksenal kuvvetleri arasında en küçük artış % 4,77 oranıyla *FRAME_I* ile *FRAME_J* arasında olmuştur.

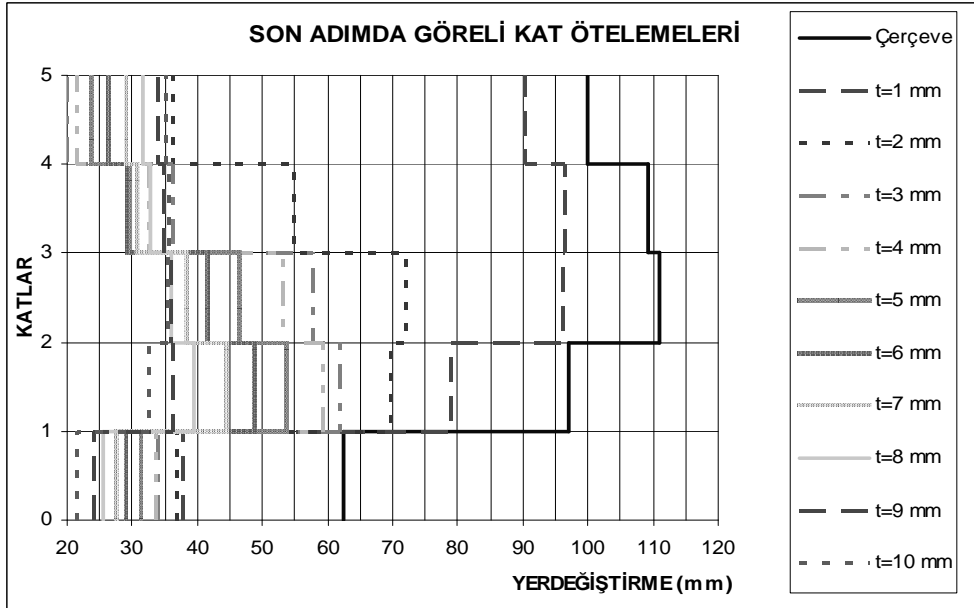
Tablo 2’de görüldüğü gibi tüm çerçevelerin taban kesme kuvveti ile tepe noktasındaki yer değiştirme arasındaki itme analizi eğrileri oluşturulmuştur.

Tablo 2 Tüm çerçevelerin itme analizi eğrileri.



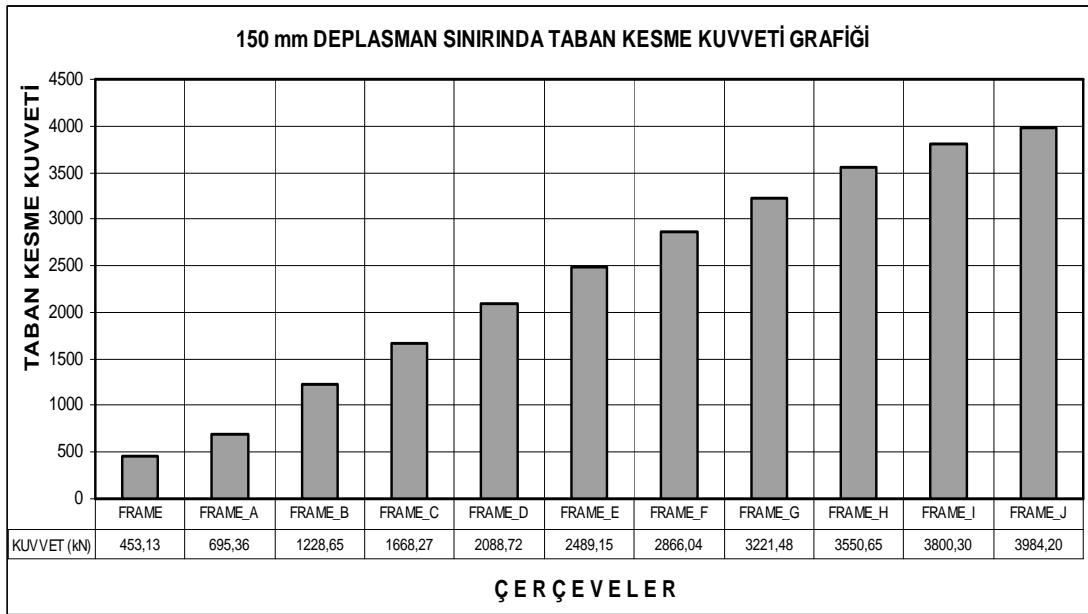
İtme analizinin sona erdiği adımlardaki görelî kat ötelemelerinin çerçeveler arasındaki ilişkileri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3 Tüm çerçevelerin görelî kat ötelemeleri.



Çerçevelerin tepe noktalarındaki deplasman 150 mm ile sınırlandırıldığında, taban kesme kuvvetleri Tablo 4 ‘de ve görelî kat ötelemeleri Tablo 5’de verilmiştir.

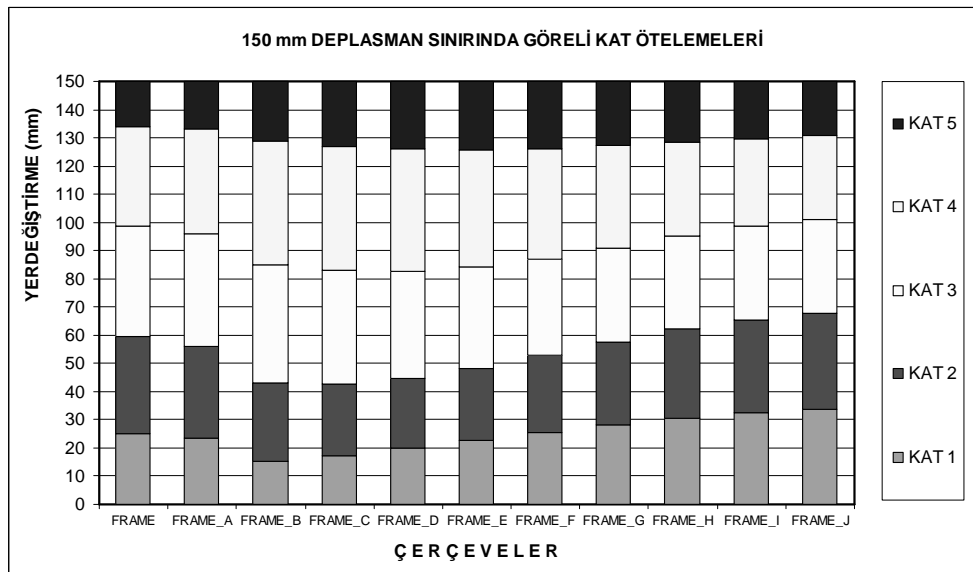
Tablo 4 Taban kesme kuvveti değerleri (150 mm yatay ötelenme sınırında).



150 mm ile sınırlandırılmış durumda etkiyen en büyük taban kesme kuvveti 3984,20 kN ile *FRAME_J* çerçevesi, en küçük taban kesme kuvveti de 453,13 kN ile *FRAME* çerçevesidir. Bu durumda % 879,26 oranında taban kesme kuvvetinin arttığı görülmüştür.

- 150 mm ile sınırlandırılmış durumda çerçevelerin taban kesme kuvvetleri arasında en büyük artış % 76,69 oranıyla *FRAME_A* ile *FRAME_B* arasında olmuştur.
- 150 mm ile sınırlandırılmış durumda çerçevelerin taban kesme kuvvetleri arasında en küçük artış % 4,84 oranıyla *FRAME_I* ile *FRAME_J* arasında olmuştur.

Tablo 5 Görelî kat ötelemeleri değerleri (150 mm yatay ötelenme sınırında).



- Çerçeveler ince levha kalınlığında inelastik davranış, kalınlık arttıkça elastik sınırlar içinde davranış göstermiştir.
- Yapının kat sayısı arttıkça levha kalınlıkları uygun biçimde azaltılabilir.
- Eleman kesitlerinin ve birleşimlerin seçiminde mafsallaşmalar hiyerarşik düzende dikkate alınmalı ve uygun tasarlanmalıdır.
- Plaka düzlemi dışında bir yükleme halinde eğilme momenti etkisinde levha silindirik rijitliği dikkate alınmalıdır.
- Çelik levha perdeli sistemlerin, büyük yatay kuvvetlere maruz kalacak ve deprem sonrası hemen kullanılması gereken çelik çerçeveli yapılarda, dayanım, süneklik ve ekonomi açısından fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

Astaneh-Asl, A., (2001) Seismic Behavior and Design of Steel Shear Walls, Steel Tips, Structural Steel Educational Council, Moraga, CA.

CSA, (Canadian Standards Association), (1994), Limit States Design of Steel Structures, CAN/CSA-S16-01, p.1-94, Rexdale, Ontario, Canada.

Driver, R.G., Kulak, Elwi, A. E. and G. L., Kennedy, D.J.L. , (1998) Cyclic Tests of Four-Story Steel Plate Shear Wall, Journal of Structural Engineering, ASCE Vol. 124, No. 2, Feb., pp. 112- 120.

Seçkin, E., (2004) Çelik Levha Perdeli Çerçeve Sistemlerde Levha Kalınlığının Davranış Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

Timler, P.A., (1998) Design procedures development, analytical verification and cost evaluation of steel plate shear wall structures. Earthquake Engineering Research Facility Technical Report No 98-01, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada.